

# **APPARATUS AND METHOD FOR AUTOMATIC FREQUENCY TUNING OF RF POWER SOURCE FOR INDUCTIVE COUPLING PLASMA REACTOR**

**Publication number:** JP9055347 (A)

**Publication date:** 1997-02-25

**Inventor(s):** HIROJI HANAWA +

**Applicant(s):** APPLIED MATERIALS INC +

**Classification:**

- international: H01J37/32; H01L21/02; H01L21/302; H01L21/3065;  
H01J37/32; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/02; H01L21/3065

- European: H01J37/32H1

**Application number:** JP19960028142 1996021 5

**Priority number(s):** US19950389888 19950215

**Also published as:**

EP0727923 (A1)

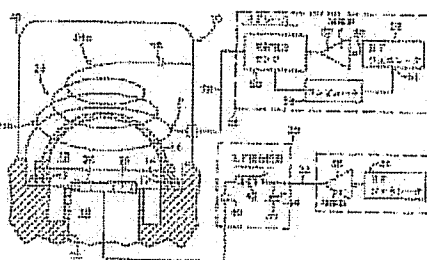
EP0727923 (B1)

US5688357 (A)

DE69602116 (T2)

**Abstract of JP 9055347 (A)**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To maintain an RF matching operation so as to respond immediately to a wide-area change in a plasma impedance by a method wherein a power sensor which is connected to an antenna is installed and a control circuit which responds to the power sensor in order to change the frequency of a power source and which increases transmission power or decreases reflection power is installed. **SOLUTION:** An RF source 26 is provided with an RF generator 52 which comprises a frequency control input part 54 and with an amplifier 57 and a power output part 56 comprising a computer 58. The computer 58 monitors a reflection power level which is measured by a reflection power sensor 50, and it gives a control signal to a frequency control output part 54 at the frequency-variable RF generator 52. One example of the RF generator 52 is a voltage-controlled oscillator, and the computer 58 changes a voltage to be given to the control input part 54 so as to change the output frequency of the generator 52. Thereby, it is possible to respond immediately to a wide-area change in a plasma impedance without using a heavy-weight and high-cost variable capacitor.



Data supplied from the *espacenet* database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-55347

(43) 公開日 平成9年(1997)2月25日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L	21/02		H 0 1 L	Z
	21/3065		21/302	A

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平8-28142

(22) 出願日 平成8年(1996)2月15日

(31) 優先権主張番号 08/389888

(32) 優先日 1995年2月15日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド

APPLIED MATERIALS, INCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050

(72) 発明者 ヒロジ ハナワ

アメリカ合衆国, カリフォルニア州

94086, サニーヴェール, スプルースドライブ 696

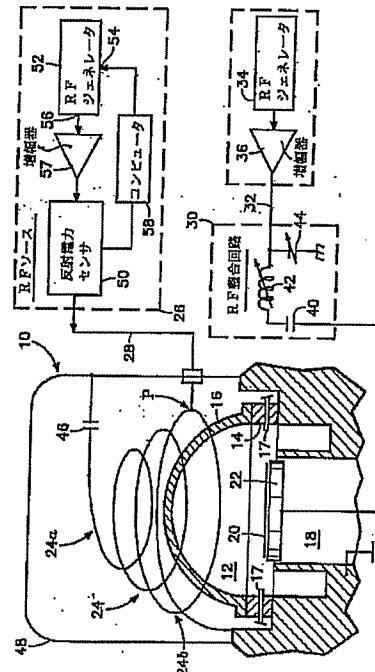
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

(54) 【発明の名称】 誘導結合プラズマ反応器のRF電力ソースの自動周波数同調装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】 可変キャパシタ等を用いずに、プラズマインピーダンスの広域の変動に対して直ちに応答してRF整合を維持するための装置である。

【解決手段】 本発明のRFプラズマ反応器は、処理されるべき半導体基板とチャンバ内ヘイオン化可能なガスを導入するためのガス流入装置とを包含する反応器チャンバと、周波数可変RF電力ソースと、チャンバに近隣のRFアンテナであって、イオン化ガスにRF電力を結合させてプラズマを発生させるためにRF電力ソースに接続されるRFアンテナと、プラズマへ伝送される電力又は(及び)前記ソースへ反射された電力を感知するための、アンテナに接続された電力センサと、プラズマインピーダンスの変化に直ちに応答して適正なRF整合を与えるために、周波数可変RF電力ソースの制御入力に接続され周波数可変RF電力ソースの周波数を変化させるために電力センサにตอบสนองして、伝送電力を増加させ又は反射電力を減少させる、制御回路とを有している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ反応器であって、

処理されるべき半導体基板と、チャンバ内ヘイオン化可能なガスを導入可能とするガス流入口とを包含する反応器チャンバと、

周波数可変RF電力ソースと、

前記チャンバに近隣のRFアンテナであって、前記イオン化可能ガスにRF電力を結合させてプラズマを発生させるために前記RF電力ソースに接続されるRFアンテナと、

前記アンテナに接続されて、(a)前記プラズマへ伝送される電力と(b)前記ソースへ反射される電力との一方を感知するための電力センサと、

(a)前記伝送電力の増加又は(b)前記反射電力の減少、のいずれか一方を実現するように、前記周波数可変RF電力ソースの制御入力に接続され、前記周波数可変RF電力ソースの周波数を変化させるために前記電力センサに応答する、制御回路とを備えるプラズマ反応器。

【請求項2】 前記RFアンテナに接続される少なくとも1つのリアクティブコンポーネント(reactive component)を備えた固定RF整合回路を更に備える請求項1に記載のプラズマ反応器。

【請求項3】 前記RFアンテナの上に可動RFコネクタを更に備え、前記RFアンテナは前記RFアンテナの長さに沿って移動可能であり、前記周波数可変RF電力ソースは前記可動RFコネクタのところで前記RFアンテナに接続される請求項1に記載のプラズマ反応器。

【請求項4】 前記可動RFコネクタの場所と前記リアクティブコンポーネントのリアクタンスが、前記周波数可変RF電力ソースの初期RF整合を与える請求項3に記載のプラズマ反応器。

【請求項5】 RFバイアスソースと、前記チャンバ内部のウエハベデスタルと、前記RFバイアスソースと前記ウエハベデスタルとの間に接続されるバイアスRF整合回路とを更に備える請求項1に記載のプラズマ反応器。

【請求項6】 前記RFバイアスソースが固定RF周波数を有し、前記バイアスRF整合回路が前記RFバイアスソースのRF整合を、前記RFバイアスソースの前記固定RF周波数で前記ウエハベデスタルへ与える請求項5に記載のプラズマ反応器。

【請求項7】 前記リアクティブコンポーネントが、前記RFアンテナの一方の端部と大地との間に接続されたキャパシタを備え、

前記RFアンテナの反対側の端部が大地に直接接続され、

前記可動コネクタが前記アンテナの前記端部同士の間配置される請求項2に記載のプラズマ反応器。

【請求項8】 前記制御回路が、コンピュータプログラムされたモニタを備え、前記電力センサをモニタするよ

うにプログラムされ、(a)前記反射電力を最小にする事と(b)前記伝送電力を最大にする事と、のいずれか一方を実行するように、前記周波数可変RF電力ソースの前記周波数を変化させる、コンピュータを有する請求項1に記載のプラズマ反応器。

【請求項9】 前記コンピュータが、周波数の増加又は減少のいずれかが反射電力を最小にするかを決定し、且つ、前記反射電力が最小となるまで前記周波数可変RF電力ソースの周波数を変化させる、プログラムがなされている請求項8に記載のプラズマ反応器。

【請求項10】 前記アンテナが誘導コイルアンテナを備え、前記プラズマ反応器が誘導結合プラズマ反応器である請求項7に記載のプラズマ反応器。

【請求項11】 前記RFアンテナが、前記チャンバの上を覆う頂部コイル部と、前記チャンバの一部を包囲する側部コイル部とを備える請求項1に記載のプラズマ反応器。

【請求項12】 前記頂部コイル部と前記側部コイル部とが単一の巻線を備える請求項11に記載のプラズマ反応器。

【請求項13】 前記頂部コイル部と前記側部コイル部とが、別々に、前記RF電力ソースに接続される請求項11に記載のプラズマ反応器。

【請求項14】 前記RFアンテナが、複数のコイル部を備え、前記複数のコイル部のうち近接する同士が正反対に巻かれ且つこれらの間で共通の接続部を有する請求項1に記載のプラズマ反応器。

【請求項15】 前記共通の接続部が前記RF電力ソースへ接続される請求項14に記載のプラズマ反応器。

【請求項16】 隣接するコイル部分のペアが複数存在し、これらの間に複数の共通の接続部を有し、一つおきの前記共通の接続部が前記RF電力ソースに接続され、残りの前記共通の接続部が大地に接続される請求項14に記載のプラズマ反応器。

【請求項17】 前記RFアンテナが、1つの共通の頂点接続部とそれぞれの端部とを有する、複数の同心の巻線を有する請求項1に記載のプラズマ反応器。

【請求項18】 前記共通の頂点接続部が、(a)前記RF電力ソースと(b)大地とのいずれか一方に接続され、前記それぞれの端部が、(a)前記RF電力ソースと(b)大地とのいずれか一方に接続される請求項17に記載のプラズマ反応器。

【請求項19】 前記RFアンテナが前記複数の同心巻線のドーム構造を備える請求項17に記載のプラズマ反応器。

【請求項20】 前記RFアンテナが前記複数の同心巻線の平坦なディスクを備える請求項17に記載のプラズマ反応器。

【請求項21】 前記RFアンテナが前記複数の同心巻線の円筒状構造を有する請求項17に記載のプラズマ反

応器。

【請求項22】 前記RFアンテナが、(a)複数の同心巻線のドーム構造と(b)同心巻線のディスク構造とのいずれか一方の下に複数の同心巻線の円筒状構造を有する請求項17に記載のプラズマ反応器。

【請求項23】 反応器チャンバと、前記反応器チャンバに近接するRFアンテナと、反応器チャンバ内へのイオン化可能なガスの導入を可能にするガス流入口とを有する、基板の処理のためのRFプラズマ反応器を動作させる方法であって、

RF電力ソースからRF電力をRFアンテナへと与えて、該チャンバ内部でガスをイオン化させるステップと、

(a)前記プラズマへ伝送される電力を増加させる事と、(b)前記ソースへ反射される電力を減少させる事と、のいずれか一方を実現させるように、前記RF電力ソースの周波数を支配するステップとを有する方法。

【請求項24】 前記RF電力ソースの周波数を支配する前記ステップが、(a)前記伝送される電力を最大にする事と、(b)前記反射される電力を最小にする事と、のいずれか一方を実現させる請求項23に記載の方法。

【請求項25】 前記RFアンテナが、前記RFアンテナの長さに沿って移動可能な可動RFコネクタを備え、前記RF電力ソースは、前記可動RFコネクタのところで前記RFアンテナに接続され、前記反応器が更に、前記RFアンテナに接続されるリアクティブコンポーネントを少なくとも備える固定RF整合回路を備え、前記方法が更に、(a)前記伝送される電力が最大になるまで、あるいは、(b)前記反射される電力が最小になるまで、のいずれか一方になるまで、前記可動コネクタを移動させることにより、RF整合を初期的に得るステップを更に有する請求項23に記載の方法。

【請求項26】 前記反応器が、前記ウエハを支持するためのウエハペDESTALを前記チャンバ内に備え、前記方法が更に、RF整合回路を介してある固定周波数で前記ウエハペDESTALにバイアスRF電力を印加するステップを備える請求項23に記載の方法。

【請求項27】 前記RF電力ソースの周波数を支配する前記ステップが、前記RFソースの周波数の増加と減少のいずれが前記反射される電力を減少させるかを決定する工程と、前記反射される電力が最小に達するまで前記周波数の前記増加と減少のいずれかを実行する工程とを備える請求項23に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体処理に用いられる誘導結合RFプラズマ反応器であって、コイルアンテナを用いてRF電力をプラズマ反応器へ結合させるタイプの反応器に関し、また特に、プラズマのインピー

ダンス変化にตอบสนองしてRF電力回路(コイルアンテナを含む)の同調を行うための方法に関する。

【0002】

【従来の技術】誘導結合プラズマ反応器は典型的には、コイルアンテナをプラズマ反応器チャンバに近接して有し、また、インピーダンス整合回路及び50オームのケーブルを介してコイルアンテナに接続されるRFジェネレータを有している。標題"PLASMA REACTOR WITH MULTI-SECTION RF COIL AND ISOLATED CONDUCTING LID"の1994年7月18日に出願のGerald Yinらによる本発明の出願人に譲渡された米国特許出願S. N. 08/277, 531号に開示されているように、このような誘導結合プラズマ反応器は、コイルアンテナがその上に巻かれる天井を有していてもよい。1つの例としてメタルエッチング等の、半導体プロセスを実施する際、チャンバ内のプラズマへ印加される電力量は重要なパラメータであり、大変慎重に選択すべきである。当該技術分野の通常の知識を有する者には良く知られているように、選択された電力レベルから大きく外れれば、プロセスを変化させて製品の歩留りを低下させる。例えば、エッチレートに影響を与えるプラズマ密度は、プラズマへ結合される電力の関数である。

【0003】プラズマにより与えられるRFインピーダンスは、処理中に変動する。RF整合回路がこのような変動を補償できなければ、RFミスマッチがRFソースとプラズマとの間に生じ、RF電力の一部が、プラズマへ結合するのではなくソースへと帰還してしまう。RFプラズマ処理中に5%オーダーのプラズマインピーダンスの変動が生じることはよくあることである。このような変動をRF整合回路が補償又は追従してRF整合環境を維持できるようにするため、RF整合回路は、RF検出器回路に支配される電気モータサーボによって制御される可変キャパシタを有している。RF検出器回路は、可変キャパシタを変化させることにより、反射電力(reflected power)の変化にตอบสนองし、RFソースとプラズマとの間のRF整合を維持する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このアプローチに関する1つの問題は、電気モータサーボと可変キャパシタは高価で且つ重量があるということである。関連した問題は、電気モータサーボ及び可変キャパシタを用いても、プラズマインピーダンスの変動が大きければ補償することが難しいということである。更に、電気モータサーボは比較的遅く信頼性に乏しい(機械的な故障が生じやすい)という問題がある。ここで必要とされているものは、重く又は高価な装置や可変キャパシタを用いずに、プラズマインピーダンスの広域の変動に対して直ちにตอบสนองしてRF整合を維持するための装置である。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明はRFプラズマ反

応器に具体化され、このRFプラズマ反応器は、処理されるべき半導体基板とチャンバ内へイオン化可能なガスを導入するためのガス流入装置とを包含する反応器チャンバと、周波数可変RF電力ソースと、チャンバに近隣のRFアンテナであって、イオン化ガスにRF電力を結合させてプラズマを発生させるためにRF電力ソースに接続されるRFアンテナと、プラズマへ伝送される電力又は(及び)前記ソースへ反射された電力を感知するための、アンテナに接続された電力センサと、プラズマインピーダンスの変化に直ちに応答して適正なRF整合を与えるために、周波数可変RF電力ソースの制御入力に接続され周波数可変RF電力ソースの周波数を変化させるために電力センサに応答して、伝送電力を増加させ又は反射電力を減少させる、制御回路とを有している。

【0006】

【発明の実施の形態】図1に示されている如く、誘導結合RFプラズマ反応器10は、略円筒状の(メタルの)側壁14と誘電(クォーツ)ドーム形状の天井16とによって境界が与えられるシールドされた反応器チャンバ12を有している。ガスサプライに結合されたガス流入装置17が、イオン化される処理ガスをチャンバ12の内側へと与える。チャンバの中ほどのウエハベダスタル18が、絶縁された導電トップ22上で半導体ウエハ20を支持する。ドーム形状の天井16の外部で巻かれるコイルアンテナ24によって、RF電力がチャンバ10内のプラズマに結合される。コイル24は、50オームのケーブル28を介して、整合されたRFソース26へと接続される。プラズマイオンエネルギーを制御するため、ウエハベダスタルベース22が、RF整合回路30及び50オームのケーブル32を介して、RFジェネレータ34及び増幅器36へと接続される。1つの実施例では、RF整合回路30は、直列の100ピコファラド(100-picoFarad)のキャパシタと、直列の可変インダクタ42(通常は3マイクロヘンリ(3 microHenries))と、可変シャント44(通常は1200ピコファラド)とを有している。しかし、これらの値は、特定のプラズマ反応器のデザインを選ぶ事により変化すること、及び、特定の反応器のデザインに対して熟練者であればただちに決定されることが、理解されるだろう。従来からの真空ポンプ(図示されず)は、チャンバ内部を所望の圧力(0~100ミリトルの間)に維持する。

【0007】本発明の1つの特徴によれば、RFソース26の負荷への整合のために、別個のRF整合回路(例えばRF整合回路30)を必要としない。その代り、コイルアンテナ24自身を固定RFリアクタンスとして利用することにより、整合が達せられる。この目的では、RFソース26からの電力ケーブルは、スライド可能な導体アタッチメントA(図4)を介して、コイルアンテナ24上の中点Pへ接続される。点Pによって、コイルアンテナ24は、上巻線24aと下巻線24bの2つ

の巻線に分割される。上巻線24aの端部は、高電圧キャパシタ46を介して、コイルアンテナ24を包囲するRFシールド48へと接地される。例示されている実施例では、高電圧キャパシタ46は500ピコファラドであった。下巻線24bの端部は、直接RFシールド48へ接地されている。スライド可能なアタッチメントAをスライドさせて、コイルアンテナ24の導体に沿ってアタッチメント点の位置Pを変えることにより、反射されてRFソースへと返ってくるRF電力をこの反射RF電力が最小になるまで測定しながら、完全なRF整合が達せられる。この目的のためには、熟練した者は、RFソース26の出力側に、反射電力センサ50等の従来からの電力メータを接続するだろう。このような従来からの電力メータは典型的には、反射電力と伝送電力の両方を連続して測定することを可能にする。熟練者にはよく知られているように、このような電力メータはただちに、従来からのRF双方向カプラ回路を用いて実用されるであろう。アタッチメントAを両方向にスライドさせてみて、スライド可能なアタッチメントAをスライドさせるべき方向はどちらが正しいのかを決める必要があるだろうことに留意すべきである。

【0008】無論、プラズマがチャンバ12内で一旦点火されれば、RF整合の条件は、プラズマインピーダンスが変動することにより失われるだろう。従って、この変動を補償して、RFソース26と負荷又はチャンバ12との間のRF整合を維持する必要がある。この目的のために、RFソース26は、周波数制御入力部54を有するRFジェネレータ52と、増幅器57及びコンピュータ58を有する電力出力部56とを採用している。コンピュータ58は、反射電力センサ50によって測定された反射電力レベルをモニタして周波数可変RFジェネレータ52の周波数制御出力部54へ制御信号を与える。RFジェネレータの1つの実施例は、電圧制御オシレータであり、コンピュータ58は、制御入力部54へ与えられる電圧を変化させることによりジェネレータ52の出力周波数を変化させる。本発明の別の実施例では、コンピュータ58の上述の制御タスクを実現させることが可能なデバイス、例えばプログラムされた論理アレイやアナログ制御回路等が、代りに用いられてもよい。

【0009】コンピュータ58(好ましくは、プログラムされた読み出し専用メモリを有する従来からのマイクロプロセッサ)は、反射電力センサ50によって測定された反射電力の量を最小にするようRFジェネレータ52の周波数を変化させるように、プログラムされている。この目的を実現させるためにコンピュータ58にプログラムされてもよい1つのアルゴリズムが、図2に例示されている。図2のアルゴリズムの連続したステップは、コンピュータ58の連続した実行サイクルの間に連続して行われる。まず、RFジェネレータ52の周波数

が増大(所定の量だけ増加)し、次に、反射RF電力がサンプルされる(図2のブロック60)。そして、コンピュータ58は、決定を行う(図2のブロック62)：現在サンプルされている反射電力が前にサンプルされたものよりも小さかった場合(ブロック62のYESのブランチ)、ブロック60の増大及びサンプリングのステップが繰り返される。そうでなければ(ブロック62のNOのブランチ)、次のステップでは、周波数を減少させて再び反射RF電力をサンプルする。再び、コンピュータは決定を行う(ブロック66)：反射RF電力が減少していれば(ブロック66のYESのブランチ)、ブロック64の減少及びサンプリングのステップが繰り返される。そうでなければ(ブロック66のNOのブランチ)、アルゴリズムはブロック60の増大及びサンプリングのステップへと戻る。

【0010】その結果、プラズマインピーダンスに生じたあらゆる大きな変動に対しても、RF整合が達せられるまでブロック60の周波数増大のステップが何度も繰り返され、あるいは、RF整合が達せられるまでブロック64の周波数減少のステップが何度も繰り返されることになる。RF整合がなされれば、増大のステップと減少のステップの間を交互に行き来する。

【0011】ここに例示される具体例では、RFソースの公称周波数は2.0MHzであった。典型的なプラズマインピーダンスの変動は、RF整合を維持するためにこの周波数を5%増減させることを必要とさせる。このような周波数の変動はプラズマ反応器の処理特性にさほど影響を与えない。コンピュータ58が、RFジェネレータ52の出力周波数を、好ましくは0.01MHzのステップで増大又は減少させるため、周波数変動の全範囲がコンピュータの100の実行サイクルでカバーされる。コンピュータ58はメガヘルツ速度で動作すると予想されているため、どのようなプラズマインピーダンスの変動に対しても、従来技術の可変キャパシタ及び電気モータサーボによる遅い応答に比べれば、事実上即座に応答する。

【0012】従って、本発明は、RF整合回路における可変キャパシタ及び電気モータサーボの必要性を排除するだけでなく、RF整合回路の全体そのものも排除し、コイルアンテナ24を利用してチャンバ10とRFソース26との間に必要なリアクタンスを得る。

【0013】運転に際し、センサ50により測定される反射RF電力が最小となるまで接続点Pを動かすことにより、公称ないし初期のRF整合が得られる。そして、チャンバ10内にプラズマが点火された後、コンピュータ58がRFジェネレータ52の周波数を制御してプラズマインピーダンス及びプラズマインピーダンスのあらゆる変化を補償する。好ましくは、例えば、RF整合が0.2MHzの公称出力周波数で得られる事が予想されている事が決定されれば、プラズマが点火された際にR

Fソース26の周波数が期待値2.0MHzよりも少し低く(例えば1.7MHz)に設定され、RF整合(最小の反射電力)が得られるまでコンピュータ58が周波数を増加させる。。

【0014】ここに例示される具体例では、コイルアンテナ24は10マイクロヘンリのインダクタンスを有し、上巻線24aの数と下巻線24bの数の比が約8:2となるようにアタッチメントの点Pが配置された。

【0015】本発明は、コンピュータ58がセンサ50により測定された反射電力をサンプルし図2のアルゴリズムによりこの電力を最小にするように試みる具体例に関して説明されてきたが、別の具体例では、コンピュータがセンサ50によって測定された伝送電力をサンプルして測定値を最大にするように試みていく。この別の具体例では、図2のアルゴリズムは、ステップ60及び66の「減少したか」の質問が、図3に例示されているように「増加したか」に変わっている。従って、図3では、周波数が減少されて伝送電力がサンプルされる(図3のブロック70)。この結果、伝送電力が増加していれば(ブロック72のYESのブランチ)、このステップが繰り返される。そうでなければ(ブロック72のNOのブランチ)、周波数が増大されその後伝送電力がサンプルされる(ブロック74)。この結果、伝送電力が増加していれば(ブロック76のYESのブランチ)、このステップが繰り返される。そうでなければ(ブロック76のNOのブランチ)、プロセスはブロック70の最初のステップへと戻る。

【0016】本発明は、RF整合回路が排除された具体例に関して説明されてきたが、別個のRF整合回路をRFソース26の出力側に接続してもよい。このとき、可変リアクティブコンポーネント(variable reactive components)(例えば可変キャパシタ等)は必要がない。

【0017】図4は、可動アタッチメント点Aの実施例であり、これはコイルアンテナ24の導体の周囲の導電リング100であり、このリング100はコイルアンテナ24と電気的に接触をしつつも、コイルアンテナ24の長さ方向に沿ったどちらの方向にも移動が可能である程度に充分緩くなっている。

【0018】図5を参照すれば、コイルアンテナ24は多半径のドーム形状を有し、コイルアンテナ24の下巻線の上ないし近くにはスライド接続導電リング100がある。図6を参照すれば、コイルアンテナ24はチャンバの上を覆う平坦ないしディスク形状の頂部610と、チャンバの一部分を包囲する円筒状の側部620とを備えていてもよい。図7を参照すれば、コイルアンテナ24は下側円筒部710と、真ん中のドーム形状のコーナ-720と、平坦ないし円盤状の頂部730とを備えていてもよい。図8を参照すれば、コイルアンテナ24は下側の先端が切られた円錐状部分810と平坦円盤状の頂部820とを備えていてもよい。図9を参照すれば、

図6のコイルアンテナが分割されて、円盤状の上巻線610と円筒状の巻線620とがRFソース26へ別々に接続されてもよい。図9の実施例では、上巻線610が、その最外側の巻線の上又は近くの第1のスライドコネクタリング100aによって、RFソースへ接続され、円筒状巻線が、上巻線の上又は近くの第2のスライドコネクタリング100bによってRFソース26へと接続される。図10を参照すれば、図7のコイルアンテナ24が分割されて、円筒部分710が第1のスライドコネクタリング100aによって上巻線へと接続され、ドーム部720及び円盤部730とは、第2のスライドコネクタリング100bによってその最外側の巻線のところでRFソース26と接続されている。図11を参照すれば、図8の具体例は分割されて、円錐状巻線810は第1のスライドコネクタリング100aによって、その上巻線の上又は近くでRFソース26と接続され、円盤状巻線820は第2のスライドコネクタリング100bによってその最外側の巻線の上又は近くでRFソース26へ接続される。図5～11の具体例は、本願の基礎となる米国出願と同日に出願の同じ発明者による標題“RF Plasma Reactor with Hybrid Coil Inductor and Multi-Radius Dome Ceiling”の米国特許出願に開示されている発明を包含している。

【0019】図12を参照すれば、コイルアンテナ24は2つの正反対に巻かれた部分1210及び1220とに分割され、これらはスライド可能なコネクタリング100によって共通の点AのところでRFソース26へと接続される。また、コイルアンテナ24の上端部と下端部とは接地されている。これら2つの部分1210及び1220は、正反対に巻かれているため、それぞれの部分からの磁束密度は互いに強化し合う。図13を参照すれば、2つの部分1310及び1320の共通の接続部分が固定され、コイルアンテナ24の上端部近くの接続部と下端部近くの接続部は、2つのスライド可能な接続リング100a、100bをそれぞれ有している。図12及び13の具体例がドーム形状の巻線であるのに対し、図14、15は、それぞれ、図12、13の具体的装置の具体例を変形させたものに対応する円筒形状巻線を例示する。図16は、図15の具体例の斜視図である。図12～16では各具体例がそれぞれ単一の共通接続点で2つのコイル部分を有しているように例示されているが、図17の斜視図には、どのように同じ構造が繰り返されて3つ（又はそれ以上）の部分1710、1720、1730が与えられたかを例示しており、ここで、隣り合わせた部分同士の間隔は、それぞれ反対方向に巻かれ、それぞれの間の共通の接続点（1740、1750、1760、1770）を有しており、一つおきの共通接続点（1750、1770）はRFソースに接続され、残りの共通接続点（1740、1760）は、接地されている。図12～17の具体例は、199

4年7月18日に出願のGerald Z. Yinらによる標題“Plasma Reactor with Multi-Section RF Coil and Isolated Conducting Lid”の米国特許出願S. N. 08/277, 531号に記載されている発明を包含している。

【0020】図18を参照すれば、コイルアンテナ24は複数（例えば3つ）の同心の関係で巻かれた導体1810、1820、1830を備えていてもよく、これらは、大地(ground)に接続に接続されている共通の頂点1840を有し、3つの端部1810a、1820a、1830aはコイルアンテナの外側周囲の周りに対称に配置される。図18の実施例では、3つの端部1810a、1820a、1830aはそれぞれ、3つのスライドコネクタリング100a、100b、100cによってRFソース26に接続されている。図18の具体例は平坦な円盤状のコイルであるが、図19には、複数の同心の関係の巻線がどのように円筒形状を有することができるのか例示される。図20には、図18の具体例と図19の具体例とがどのように組み合わせられて平坦円盤状巻線2010と円筒状側部巻線2020とを与えるかが例示される。図21の具体例は、複数の同心の関係の巻線から成るドーム形状の頂部2110を備えている。図21に例示されているように、ドーム形状の頂部2110は図20の円筒状側部巻線2020と結合されてもよい。図18～21の具体例は、1994年10月31日に出願のXue-Yu Qianらの標題“Inductively Coupled Plasma Reactor with Symmetrical Parallel Multiple Coils Having a Common RF Terminal”の米国特許出願S. N. 08/332, 569に開示された発明を包含している。

【0021】本発明は好ましい具体例に特に関連して説明されてきたが、本発明の真の思想及び範囲から離れることなく変形が可能であることが理解されよう。

【0022】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明に従った装置及び方法により、誘導結合プラズマ反応器において、重量がありしかも高価な装置や可変キャパシタを用いることなく、プラズマインピーダンスの広域の変動に対して直ちに応答してRF整合を維持することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を包含するRFプラズマ反応器システムの構成図である。

【図2】図1のシステムのロジックによって実現される周波数制御プロセスを例示するフローチャートである。

【図3】図1のシステムの別の具体例におけるロジックによって実現される周波数制御プロセスを例示するフローチャートである。

【図4】図1の具体例に採用されているトランスレータブルRFコネクタの外観図である。

【図5】アンテナコイルが、チャンバの上を覆う頂部と

チャンバの一部を包囲する側部とを有する、本発明の具体例の断面図である。

【図6】アンテナコイルが、チャンバの上を覆う頂部とチャンバの一部を包囲する側部とを有する、本発明の別の具体例の断面図である。

【図7】アンテナコイルが、チャンバの上を覆う頂部とチャンバの一部を包囲する側部とを有する、本発明の別の具体例の断面図である。

【図8】アンテナコイルが、チャンバの上を覆う頂部とチャンバの一部を包囲する側部とを有する、本発明の別の具体例の断面図である。

【図9】アンテナコイルが、チャンバの上を覆う頂部とチャンバの一部を包囲する側部とを有する、本発明の別の具体例の断面図である。

【図10】アンテナコイルが、チャンバの上を覆う頂部とチャンバの一部を包囲する側部とを有する、本発明の別の具体例の断面図である。

【図11】アンテナコイルが、チャンバの上を覆う頂部とチャンバの一部を包囲する側部とを有する、本発明の別の具体例の断面図である。

【図12】アンテナコイルが、接続部の共通点で接合される複数の対向する巻線部分から成る、本発明の具体例の断面図である。

【図13】アンテナコイルが、接続部の共通点で接合される複数の対向する巻線部分から成る、本発明の別の具体例の断面図である。

【図14】アンテナコイルが、接続部の共通点で接合される複数の対向する巻線部分から成る、本発明の別の具体例の断面図である。

【図15】アンテナコイルが、接続部の共通点で接合される複数の対向する巻線部分から成る、本発明の別の具体例の断面図である。

【図16】アンテナコイルが、接続部の共通点で接合さ

れる複数の対向する巻線部分から成る、本発明の別の具体例の断面図である。

【図17】アンテナコイルが、接続部の共通点で接合される複数の対向する巻線部分から成る、本発明の別の具体例の断面図である。

【図18】アンテナコイルが、複数の同心巻線からなる本発明の具体例の断面図である。

【図19】アンテナコイルが、複数の同心巻線からなる本発明の別の具体例の断面図である。

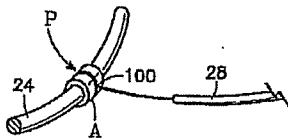
【図20】アンテナコイルが、複数の同心巻線からなる本発明の別の具体例の断面図である。

【図21】アンテナコイルが、複数の同心巻線からなる本発明の別の具体例の断面図である。

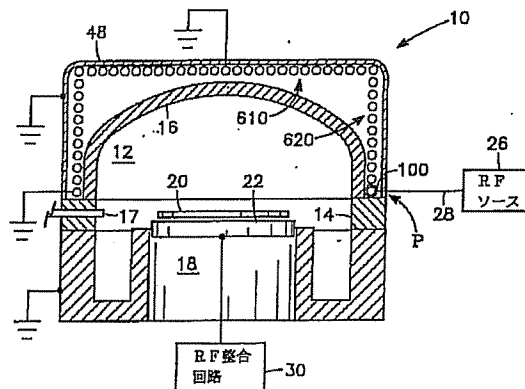
#### 【符号の説明】

10…誘導結合RFプラズマ反応器、12…反応器チャンバ、14…側壁、16…天井、18…ウエハベDESTAL、20…半導体ウエハ、22…導電トップ、24…コイルアンテナ、26…RFソース、28…ケーブル、30…RF整合回路、32…ケーブル、34…RFジェネレータ、36…増幅器、46…高電圧キャパシタ、48…RFシールド、50…反射電力センサ、52…RFジェネレータ、54…周波数制御入力部、56…電力出力部、57…増幅器、58…コンピュータ、100…導電リング、610…頂部、620…側部、710…下側円筒部、720…コーナー、730…頂部、810…先端が切られた円錐状部分、820…頂部、1210、1220…部分、1310、1320…部分、1710、1720、1730…部分、1740、1750、1760、1770…共通接続部、1810、1820、1830…導体、1840…頂点、1810a、1820a、1830a…端部、2010…平坦円盤状巻線、2020…円筒状側部巻線、2110…頂部。

【図4】

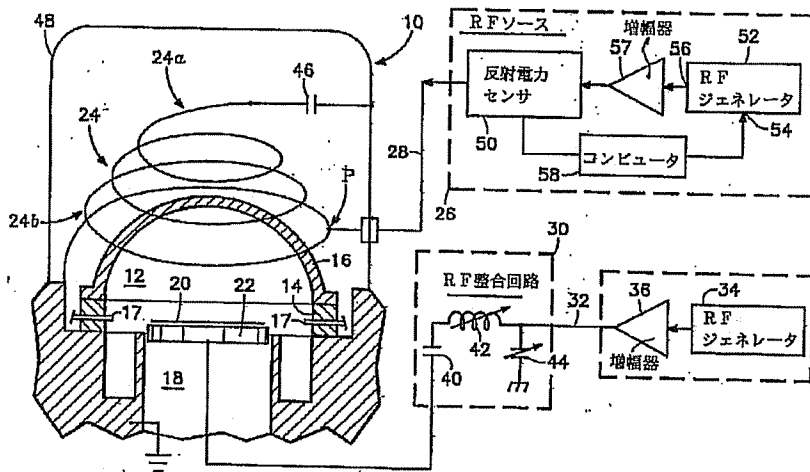


【図6】

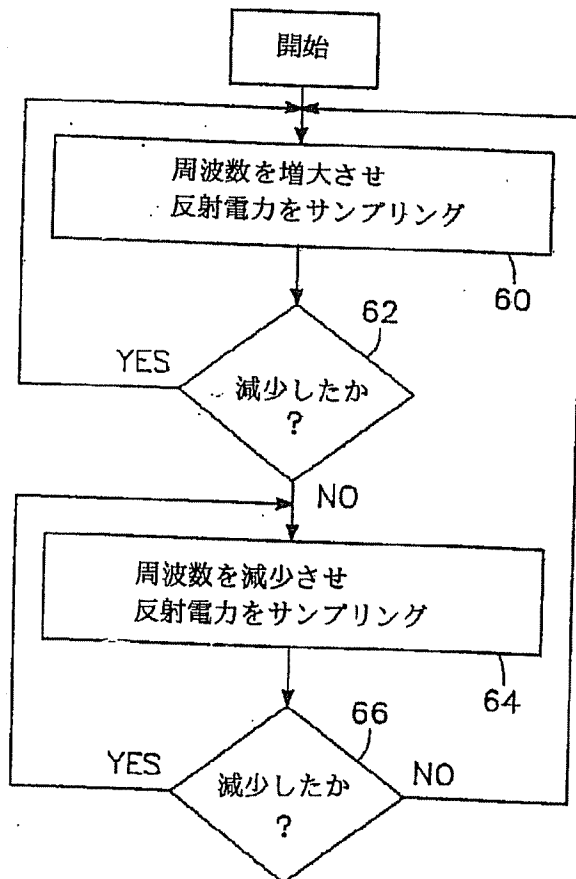




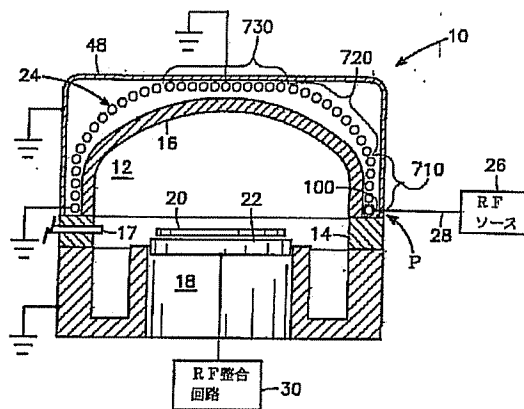
【図1】



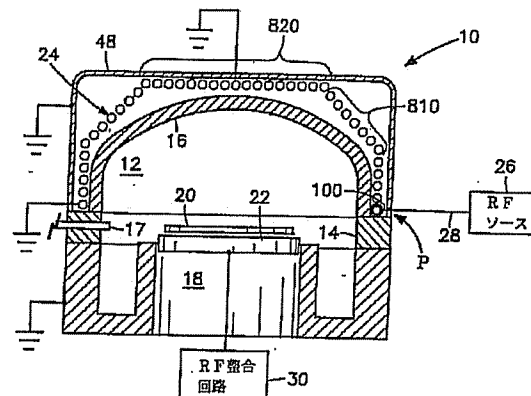
【図2】



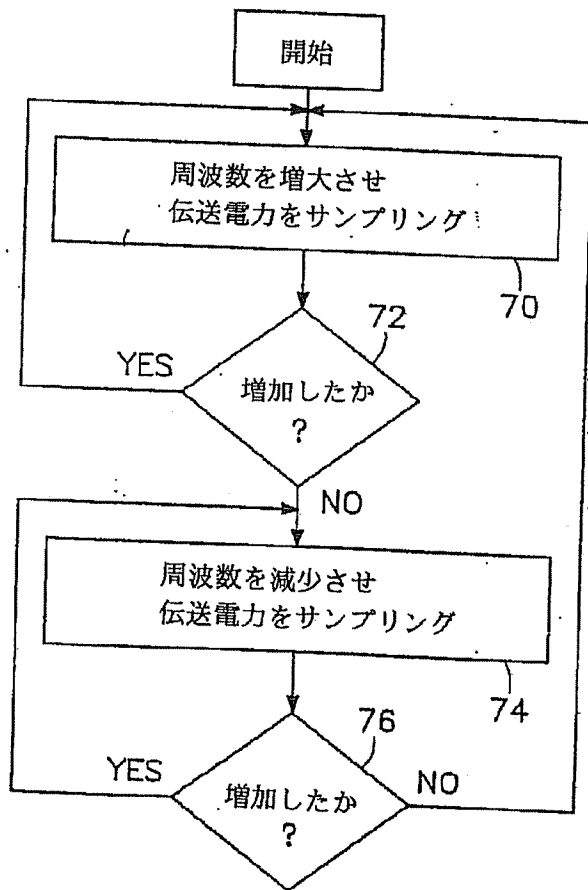
【図7】



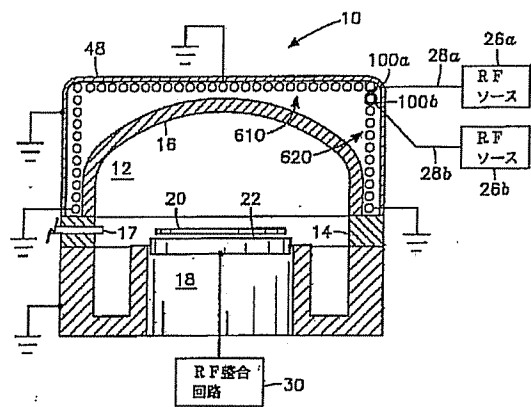
【図8】



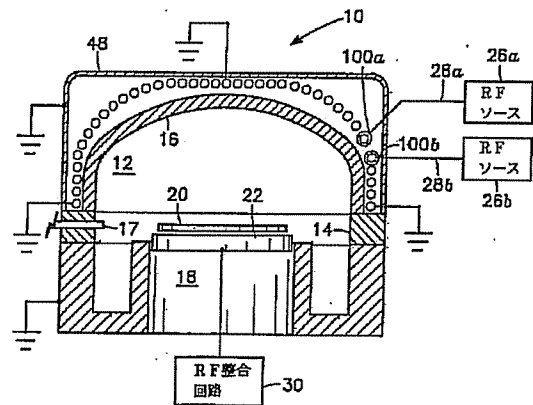
【図3】



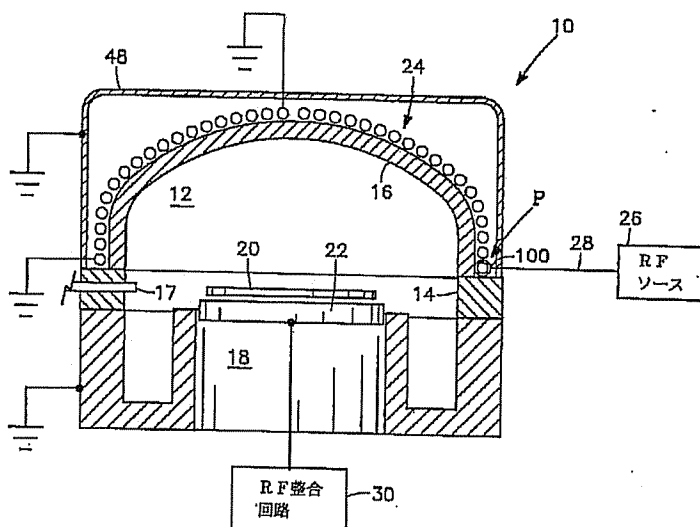
【図9】



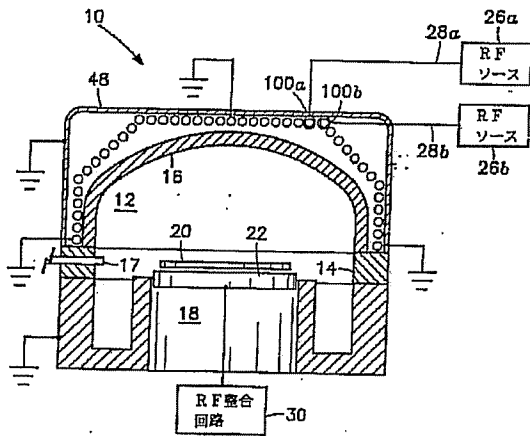
【図10】



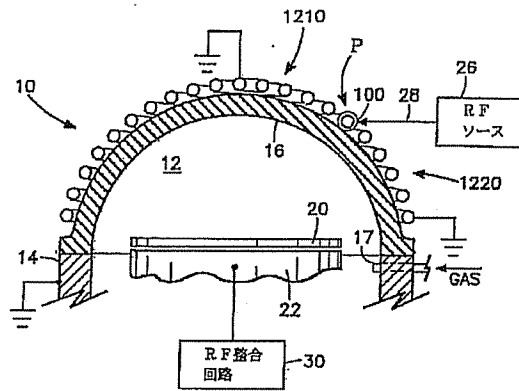
【図5】



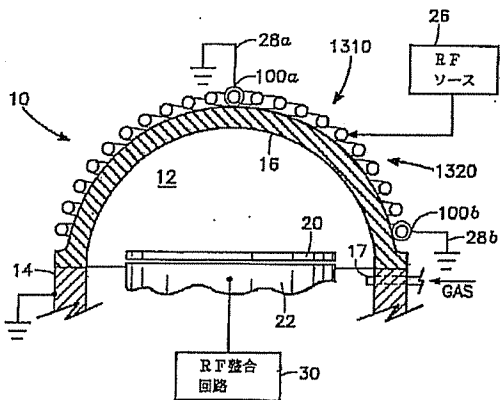
【図11】



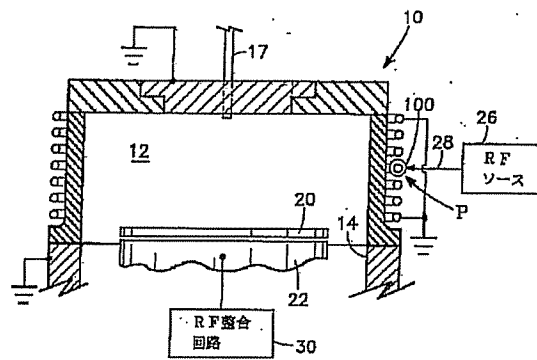
【図12】



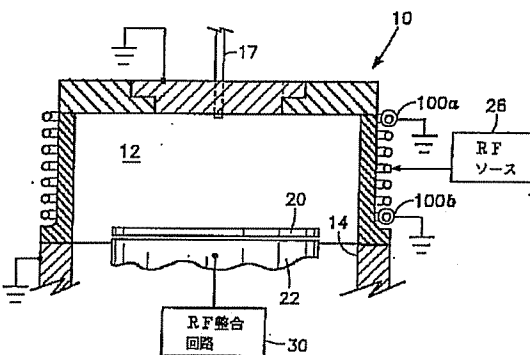
【図13】



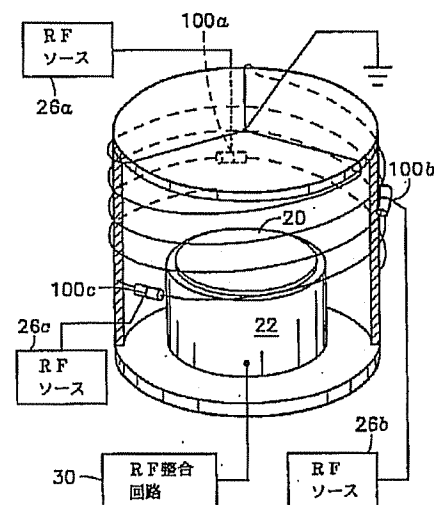
【図14】



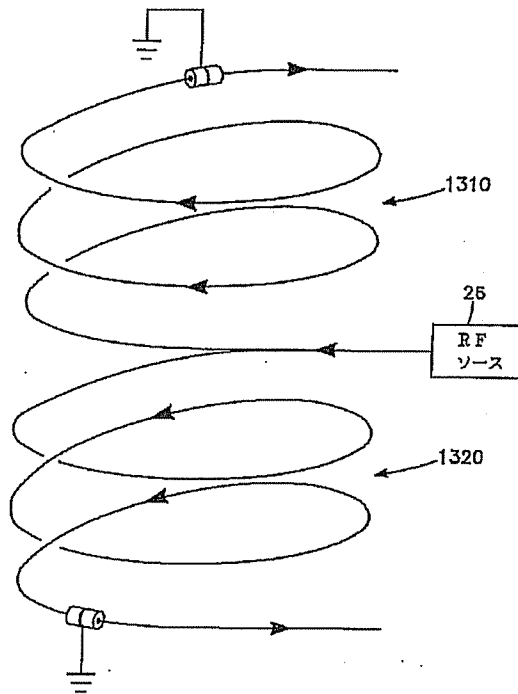
【図15】



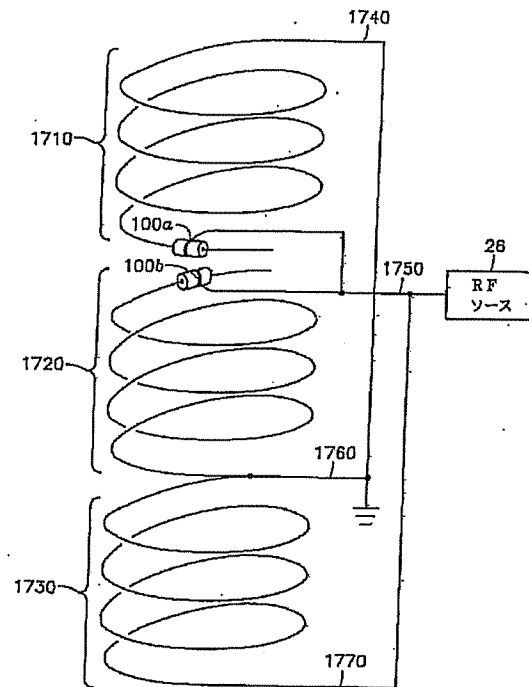
【図19】



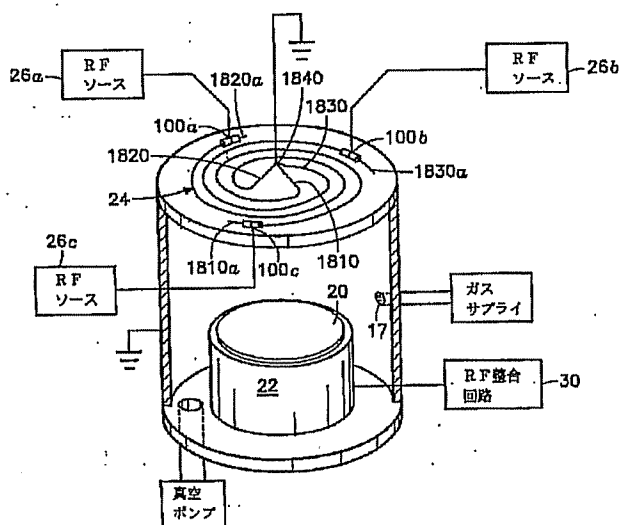
【図16】



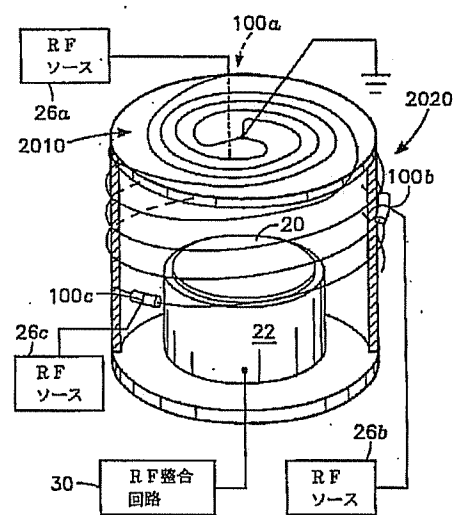
【図17】



【図18】



【図20】



【図21】

